

## Method for operating a reciprocating-piston internal combustion engine

**Patent number:** DE19916485

**Publication date:** 2000-10-26

**Inventor:** RAAB ALOIS (DE); JORACH RAINER (DE); WIRBELEIT FRIEDRICH (DE); SCHLOZ ECKART (DE); SCHNABEL MARTIN (DE)

**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG (DE)

**Classification:**

- international: F02B15/00; F02M61/08

- european: F02B1/12; F02B23/06F; F02B23/06M12; F02M61/04B2; F02M61/08; F02M61/18B

**Application number:** DE19991016485 19990413

**Priority number(s):** DE19991016485 19990413

**Also published as:**



EP1045136 (A1)

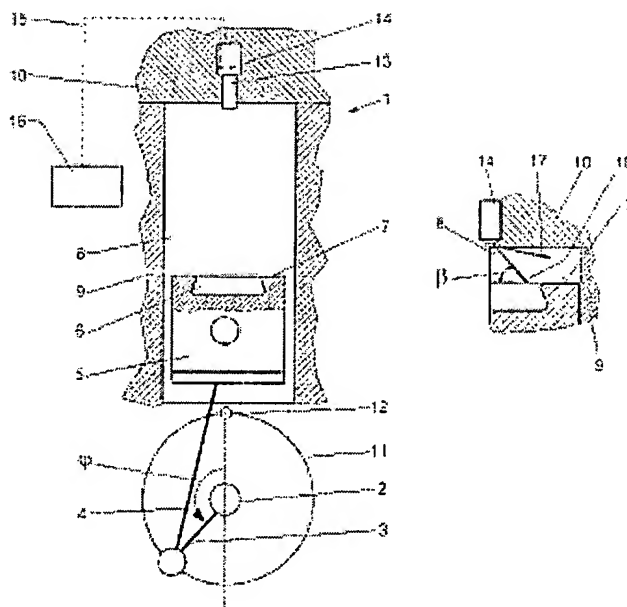
US6513487 (B1)

**Report a data error here**

Abstract not available for DE19916485

Abstract of corresponding document: **US6513487**

A method for operating a reciprocating-piston internal combustion engine, having an injector nozzle operable by a single valve element and configured to directly inject a fuel into a combustion chamber and having a piston including a piston crown and a piston recess, includes the steps of injecting the fuel by the injector nozzle into the combustion chamber in the form of separated jets of the fuel having different inclinations relative to a top surface of the piston crown and selectively setting the inclinations of the fuel jets depending on an engine load.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (15P)



① **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 199 16 485 C 2**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 B 15/00**  
F 02 M 61/08

⑳ Aktenzeichen: 199 16 485.1-13  
㉔ Anmeldetag: 13. 4. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 26. 10. 2000  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 31. 10. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② **Erfinder:**  
Raab, Alois, Dipl.-Ing., 73560 Böbingen, DE; Jorach,  
Rainer, Dr., 73760 Ostfildern, DE; Wirbeleit,  
Friedrich, Dr., 73733 Esslingen, DE; Schloz, Eckart,  
Dipl.-Ing., 71672 Marbach, DE; Schnabel, Martin,  
Dipl.-Ing., 73430 Aalen, DE

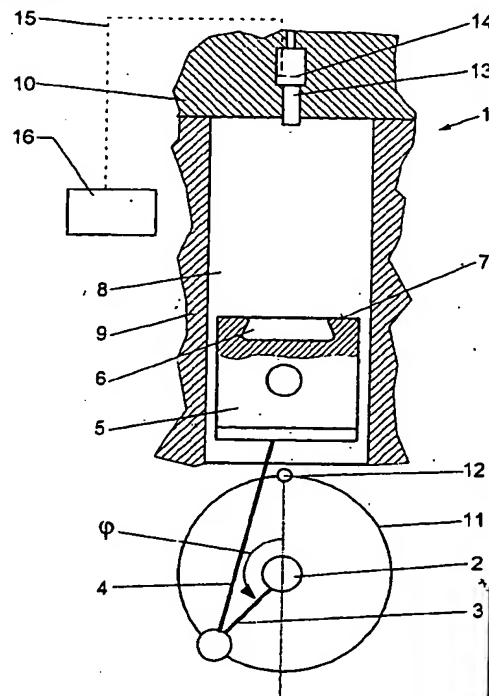
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 25 904 C2  
DE 197 30 399 A1  
DE 44 24 117 A1  
DE 42 28 359 A1

HASHIZUME, T. u.a.: Combustion and Emission  
Characteristics of Multiple Stage Diesel  
Combustion, in: SAE-Paper 980505, 1998;  
POTZ, D. u.a.: Variable-Drifce Geometry  
verified on the Two-Phase Nozzle (VRD), in:  
SAE-Paper 950081, 1995;  
IWABUCHI, Y. u.a.: Trail of New Concept Diesel  
Combustion System-Premixed  
Compression-Ignition  
Combustion-, in: SAE 1999-01-0185;

⑤④ **Verfahren zum Betrieb einer Hubkolbenbrennkraftmaschine**

⑤⑦ Verfahren zum Betrieb einer Hubkolbenbrennkraftmaschine, bei der eine zu einem Arbeitsraum hin öffnende Einspritzdüse Kraftstoff direkt in den Arbeitsraum einspritzt, der in einem Zylinder zwischen einem Zylinderkopf und einem Kolben gebildet ist und eine Kolbenmulde umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftstoff mittels der Einspritzdüse in Form von voneinander abgegrenzten Kraftstoffstrahlen in den Arbeitsraum mit unterschiedlicher Neigung zum Kolbenboden eingespritzt wird, wobei die Neigung der Kraftstoffstrahlen selektiv angesteuert wird.



DE 199 16 485 C 2

DE 199 16 485 C 2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Hubkolbenbrennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bei modernen, schnell laufenden Hubkolbenbrennkraftmaschinen, die mit Dieseldieselkraftstoff und Selbstzündung arbeiten, wird der Kraftstoff unmittelbar in einen Arbeitsraum eingespritzt, der in der Regel eine Kolbenmulde einschließt. Der eingespritzte Kraftstoff bildet ein mehr oder weniger homogenes Gemisch aus Dieseldieselkraftstoff und Luft, wobei die Last der Hubkolbenbrennkraftmaschine geregelt wird, indem die eingespritzte Kraftstoffmenge variiert wird. Das Kraftstoff-Luftgemisch zündet, wenn im Arbeitsraum ein zündfähiges Gemisch vorhanden ist und die Verdichtungs-temperatur im Arbeitsraum die Selbstzündungs-temperatur des Kraftstoff-Luftgemisches erreicht oder überschreitet.

[0003] Zur vollständigen Verbrennung wird eine gute Verteilung des Kraftstoffs mit der Luftladung angestrebt. Wird der Kraftstoff homogen auf die Luftladung des Arbeitsraums verteilt, so daß ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch entsteht, besteht im unteren Lastbereich der Hubkolbenbrennkraftmaschine, wenn eine geringe Kraftstoffmenge auf eine große Luftladung im Arbeitsraum trifft, die Gefahr, daß das Verhältnis von Kraftstoff zur Luft an keiner Stelle des Arbeitsraums die Voraussetzung für eine Zündfähigkeit erreicht. Andererseits besteht im Vollastbereich der Hubkolbenbrennkraftmaschine, wenn eine große Menge Kraftstoff gleichmäßig auf die Luftladung im Arbeitsraum verteilt wird, die Gefahr, daß an vielen Stellen des Arbeitsraums die Zündbedingungen erreicht werden und daher der Kraftstoff mit einem schnellen, großen Druckanstieg und zahlreichen Druckspitzen verbrennt, was eine klopfende Verbrennung zur Folge hat.

[0004] Es ist bekannt, den Kraftstoff heterogen auf die Luftladung zu verteilen, um eine harmonisch ablaufende Verbrennung zu erzielen. Dabei entstehen im Arbeitsraum Zonen mit überfetteten Kraftstoff-Luftgemischen, die sich durch die Luftbewegung im Arbeitsraum zu zündfähigen Gemischen entwickeln, so daß eine gleichmäßige Verbrennung stattfindet.

[0005] Es ist bekannt, SAE-Paper 980505, 1998, Hashizume, T., Miyamoto, T., Akagawa, H., Tsujimura, K.: Combustion and Emission Characteristics of Multiple Stage Diesel Combustion, die Last einer Hubkolbenbrennkraftmaschine durch eine Zweiphaseneinspritzung des Kraftstoffs zu steigern. Dabei sind seitlich im Brennraum Einspritzdüsen angeordnet, durch die zur homogenen Gemischbildung Kraftstoff in einer ersten Phase eingespritzt wird. In einer zweiten Phase wird der Kraftstoff durch eine zentral angeordnete, konventionelle Sechsen- oder Achtlochdüse zur heterogenen Gemischbildung eingespritzt. Ein solches Verfahren erfordert einen hohen baulichen und steuerungstechnischen Aufwand.

[0006] Es ist ferner bekannt, SAE-Paper 950081, 1995, Potz, D., Kreh, A., Waga, J.: Variable-Orifice Geometry verified on the Two-Phase Nozzle (VRD), den Kraftstoff über eine Varioregisterdüse in den Arbeitsraum einzuspritzen. Es handelt sich hierbei um eine nach außen öffnende Einspritzdüse, die zwei in Öffnungsrichtung versetzt angeordnete Lochreihen aufweist. Zur heterogenen Kraftstoffeinspritzung bei niedriger Last öffnet die Varioregisterdüse nur so weit, daß der Kraftstoff über eine Lochreihe eingespritzt wird, während bei hoher Last über beide Lochreihen der Kraftstoff in den Arbeitsraum gelangt. Die Düsenlöcher der ersten Lochreihe verlaufen zu den Düsenlöchern der zweiten Lochreihe im wesentlichen parallel, so daß sie den glei-

chen Neigungswinkel zum Kolbenboden aufweisen.

[0007] Es ist ferner bekannt, SAE 1999-01-0185, Iwabuchi, Y., Kawai, K., Shoji, T., Takeda, T.: Trail of New Concept Diesel Combustion System - Premixed Compression-Ignition Combustion -, die Eindringtiefe von Einspritzstrahlen dadurch zu reduzieren, daß bei einer konventionellen Einspritzdüse jeweils zwei Düsenlöcher so angeordnet sind, daß die Einspritzstrahlen in einem bestimmten Abstand der Düsenlöcher gezielt aufeinander treffen. Durch die Kollision der beiden Einspritzstrahlen wird der Impuls der Einzelstrahlen verringert, der Durchmesser der Kraftstofftropfen im Strahl verkleinert und eine Aufweitung des Strahls erreicht. Dadurch wird eine Anlagerung des Kraftstoffs an der Zylinderwand vermieden und gleichzeitig ein größeres Luftvolumen vom Einspritzstrahl erfaßt.

[0008] Ferner ist aus der DE 42 28 359 A1 eine Einspritzdüse für Brennkraftmaschinen bekannt, die nach außen öffnet und in Öffnungsrichtung längliche Öffnungsquerschnitte aufweist. Dadurch sollen Spritzstrahlen mit scharf gebündeltem Strömungsprofil und mit einem konstanten Strömungswinkel gebildet werden. Ferner ist durch die entgegen der Öffnungsrichtung versetzte Anordnung der Durchbrüche gegenüber der Dichtfläche eines Schließkopfes sichergestellt, daß bei geringem Kraftstofförderdruck bzw. einer kleinen Drehzahl scharf gebündelte Spritzstrahlen erst gebildet werden, wenn die Ventildüse einen Leerhub durchlaufen hat. Die Ventildüse wird durch den Druck einer Einspritzpumpe entgegen der Kraft einer Schließfeder geöffnet. In Verbindung mit der Formgebung des Querschnitts der Düsenlöcher, der Charakteristik der Schließfeder und der Pumprate der Einspritzpumpe läßt sich der zeitliche Einspritzverlauf beeinflussen.

[0009] Aus der DE 43 25 904 C2 ist eine Kraftstoffeinspritzanlage bekannt, bei der eine Hochdruckpumpe den Kraftstoff in eine für alle Einspritzdüsen gemeinsame Versorgungsleitung fördert. Von einem elektronischen Steuergerät angesteuerte Aktuatoren, die nach einem piezoelektrischen oder magnetostruktiven Prinzip arbeiten, wirken direkt oder über ein Übersetzungselement auf eine Ventildüse des nach außen öffnenden Einspritzventils, wobei die Öffnungsquerschnitte in Öffnungsrichtung länglich und rechteckig ausgestaltet sind.

[0010] Schließlich offenbart die DE 44 24 117 A1 ein Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff in den Brennraum und/oder in den Einlasskanal einer Brennkraftmaschine mittels zumindest einer Einspritzdüse mit einem definiert ausgerichteten Kraftstoffstrahl, wobei der Kraftstoffstrahl abhängig von motorspezifischen Daten geometrisch verändert wird. Dabei soll je nach Motordaten der Kraftstoffstrahl in eine andere Richtung gerichtet werden, um die Verbrennung zu optimieren. Dazu wird verschwenkbare Düse vorgesehen, welche durch einen Stellmotor angesteuert wird.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, über den Betriebsbereich einer Hubkolbenbrennkraftmaschine mit direkter Kraftstoffeinspritzung die Gemischbildung mit einem geringen Bauaufwand zu verbessern. Sie wird gemäß der Erfindung durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0012] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst in einem unteren Teillastbereich der Kraftstoff zur heterogenen Gemischbildung kurz vor dem oberen Totpunkt unter einem flachen Winkel zum Kolbenboden zentral in die Kolbenmulde eingespritzt. Dadurch wird gewährleistet, daß sich auch bei den im Verhältnis zur Luftladung geringen Kraftstoffmengen ein zündfähiges Gemisch bildet. In einem anschließenden höheren Teillastbereich wird der Kraftstoff zu einer homogenen Gemischbildung in einem Bereich von

60° bis 20° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt zum Teil unter einem steileren Winkel zum Kolbenboden eingespritzt. Dadurch wird er gleichmäßig auf die Luftladung des Arbeitsraums

verteilt, so daß eine vollständige Verbrennung erzielt wird. Im Vollastbereich, wenn die einzuspritzende Kraftstoffmenge relativ zur Luftladung im Arbeitsraum sehr groß ist, wird der Kraftstoff in mehreren Phasen eingespritzt, und zwar in einer ersten Phase in einem Bereich von 60° bis 20° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt unter einem steileren Winkel zum Kolbenboden mit einer weitgehend homogenen Gemischbildung und in einer weiteren Phase zur heterogenen Gemischbildung in einem Bereich um den oberen Totpunkt unter einem flacheren Winkel zum Kolbenboden. Dadurch wird bezweckt, daß zum Zeitpunkt, zu dem die Verdichtungs-temperatur die Zündtemperatur erreicht, nur eine begrenzte Menge an zündfähigem Kraftstoff-Luftgemisch vorliegt, die einerseits eine vollständige Verbrennung ermöglicht, andererseits aber keine klopfende Verbrennung verursacht. Der später eingespritzte Kraftstoff verbrennt aufgrund der heterogenen Gemischbildung ohne örtliche Druckspitzen.

[0013] Alternativ zur mehrphasigen Einspritzung im oberen Teillastbereich und Vollastbereich kann in diesen Lastbereichen auch eine einphasige Einspritzung angewendet werden. Dabei wird der Kraftstoff wie bei unterer Teillast unter einem flachen Winkel kurz vor dem oberen Totpunkt zur heterogenen Gemischbildung eingespritzt.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit nur einer Einspritzdüse durchgeführt werden, die Einspritzstrahlen mit unterschiedlicher Neigung zum Kolbenboden erzeugt. Dabei kann die Neigung der Kraftstoffstrahlen selektiv angesteuert werden, indem zum einen in Öffnungsrichtung der Ventilschleppung versetzt zueinander mehrere, vorzugsweise zwei, Reihen von Düsenlöchern vorgesehen sind, von denen die vom Nadelkopf weiter entfernten Düsenlöcher einen steileren Winkel zum Kolbenboden aufweisen als die näher gelegenen, oder indem der Winkel des Strahlvektors der Einspritzstrahlen zum Kolbenboden mit dem Öffnungshub variabel ist. Damit sich im ersten Fall die Einspritzstrahlen mit dem steileren Winkel zum Kolbenboden nicht mit den flacheren Einspritzstrahlen kreuzen, ist es zweckmäßig, die Düsenlöcher in Umfangsrichtung entsprechend zu versetzen.

[0015] Im zweiten Fall kann der Strömungsvektor leicht dadurch modifiziert werden, daß in Öffnungsrichtung längliche Mündungsquerschnitte der Düsenlöcher vorgesehen werden. Der Einspritzstrahl wird bei teilweise geöffnetem Mündungsquerschnitt von der Steuerkante in Richtung Kolbenboden abgelenkt, so daß ein steilerer Strahlvektor entsteht, während bei vollständiger Öffnung des Mündungsquerschnitts der Strahlvektor flach zum Kolbenboden verläuft. Zweckmäßigerweise wird die Ventilsitzfläche am Nadelkopf soweit in Öffnungsrichtung zurückgenommen, daß sie die Ablenkung der Einspritzstrahlen mit einem steileren Winkel zum Kolbenboden nicht behindert.

[0016] Im zweiten Fall sind die Düsenlöcher ohne Versatz zueinander so anzuordnen, daß die unter einem steileren Winkel  $\beta$  angeordneten, oben liegenden Einspritzstrahlen die untenliegenden Einspritzstrahlen in einer Entfernung gezielt treffen. Durch die gezielte Kollision der beiden Strahlen wird die absolute Eindringtiefe des Kraftstoffs deutlich reduziert. Eine Wandauflagerung des Kraftstoffs, bei der Einspritzung zu frühen Grad Kurbelwinkeln gegen niedrigen Brennraumdruck, kann dadurch vermieden werden. Gleichzeitig reißt der Einspritzstrahl bei der Kollision deutlich weiter auf, wodurch sich kleiner Kraftstofftropfen bilden und ein größeres Luftvolumen erfaßt wird.

[0017] Die Lochdurchmesser der unteren und oberen Düsenlöcher sowie die Strahlkegelwinkel muß gezielt aufeinander abgestimmt werden.

[0018] Damit zur homogenen Gemischbildung die gesamte Luftladung des Arbeitsraums gleichmäßig erfaßt wird, ist es vorteilhaft, daß die Ventilschleppung während einer Einspritzung in Intervallen aufgesteuert wird. Durch die unterschiedlichen Winkel der Einspritzstrahlen und Strahlvektoren werden sowohl die Randbereiche des Arbeitsraums als auch die zentralen Bereiche der Kolbenmulde optimal erfaßt. Die Einspritzdüsen werden zweckmäßigerweise durch eine elektronische Steuereinheit über piezoelektrische oder magnetostruktive Aktuatoren direkt oder unter Zwischenschaltung eines Übersetzungselements angesteuert.

[0019] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0020] Es zeigt:

[0021] Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Hubkolbenbrennkraftmaschine,

[0022] Fig. 2 eine Kraftstoffeinspritzung in einem unteren Teillastbereich,

[0023] Fig. 3 eine Kraftstoffeinspritzung in einem mittleren Teillastbereich,

[0024] Fig. 4 die erste Phase einer Kraftstoffeinspritzung in einem Vollastbereich,

[0025] Fig. 5 die zweite Phase einer Kraftstoffeinspritzung in einem Vollastbereich,

[0026] Fig. 6 eine Teilansicht einer Einspritzdüse mit mehreren in Öffnungsrichtung versetzt angeordneten Spritzkanälen,

[0027] Fig. 7 einen Teilschnitt durch eine Einspritzdüse nach Fig. 6 in einem halb geöffneten Zustand,

[0028] Fig. 8 einen Teilschnitt durch eine Einspritzdüse mit Schlitzkanälen in einem halb geöffneten Zustand,

[0029] Fig. 9 Varianten von Mündungsquerschnitten eines Schlitzkanals,

[0030] Fig. 10 ein schematisches Kennfeld einer Hubkolbenbrennkraftmaschine, bei dem der mittlere indizierte Druck  $P_{me}$  über der Drehzahl aufgetragen ist,

[0031] Fig. 11 eine Teilansicht einer Einspritzdüse mit mehreren in einer Linie übereinander angeordneten Düsenlöchern und

[0032] Fig. 12 einen Teilschnitt durch eine Einspritzdüse nach Fig. 11 in einem halb geöffneten Zustand.

[0033] Bei einer Hubkolbenbrennkraftmaschine 1 treibt ein Kolben 5, der in einem Zylinder 9 geführt ist, über eine Pleuelstange 4 und eine Pleuellager 2 eine Pleuellager 2. Zwischen dem Kolben 5 und einem Zylinderkopf 10 wird im Zylinder 9 ein Arbeitsraum 8 gebildet, der eine in den Kolbenboden 7 eingelassene Kolbenmulde 6 umfaßt.

[0034] Bei der Drehung der Pleuellager 2 auf einen Pleuellager 2 im Uhrzeigersinn verkleinert sich der Arbeitsraum 8, wobei die in ihm eingeschlossene Luft verdichtet wird. Der Ladungswechsel der Luft im Arbeitsraum 8 erfolgt über Gaswechselventile und Gaskanäle im Zylinderkopf 10, die nicht näher dargestellt sind.

[0035] Mit dem Erreichen eines oberen Totpunktes 12 der Pleuellager 2 ist das Ende der Verdichtung erreicht, bei dem der Arbeitsraum 8 sein kleinstes Volumen annimmt und die höchste Verdichtungs-temperatur erreicht wird. Die aktuelle Lage des Pleuellagers 2 zum Zylinderkopf 10 wird durch den Pleuellagerwinkel  $\phi$  in Bezug auf den oberen Totpunkt 12 bestimmt.

[0036] Eine Einspritzdüse 13 ist zentral zur Grundfläche des Zylinders 9 im Zylinderkopf 10 angeordnet und ragt ein wenig in den Arbeitsraum 8. Sie besitzt einen Aktuator 14, der magnetostraktiv oder piezoelektrisch arbeitet, auf eine Ventalnadel 21 der Einspritzdüse 13 wirkt und über eine Signalleitung 15 von einer elektronischen Steuereinheit 16, der Motorsteuerung, angesteuert wird.

[0037] Fig. 2 zeigt die Kraftstoffeinspritzung in einem unteren Teillastbereich 37 (Fig. 10). Der Kolben 5 befindet sich im Bereich des oberen Totpunkts 12, während die Einspritzdüse 13 den Kraftstoff in die Kolbenmulde 6 zur heterogenen Gemischbildung einspritzt. Dabei bilden die Einspritzstrahlen 17 einen kleinen Winkel  $\alpha$  zum Kolbenboden 7.

[0038] Im Teillastbereich 35 (Fig. 10) verteilt die Einspritzdüse 13 den Kraftstoff weitgehend homogen auf die Luftladung des Arbeitsraums 8. Dabei beginnt die Kraftstoffeinspritzung deutlich früher, und zwar in einem Bereich von  $60^\circ$  bis  $20^\circ$  Kurbelwinkel  $\phi$  vor dem oberen Totpunkt 12. Der Kraftstoff wird gleichzeitig über die Kraftstoffstrahlen 17 mit einem kleinen Winkel  $\alpha$  eingespritzt, die insbesondere bis in die Randbereiche des Arbeitsraums 8 reichen, und über Kraftstoffstrahlen 19 mit einem steileren Winkel  $\beta$ , die den zentralen Bereich einschließlich der Kolbenmulde 6 erfassen.

[0039] In einem Vollastbereich 36 (Fig. 10) wird der Kraftstoff in mehreren Phasen, vorzugsweise in zwei Phasen, eingebracht, und zwar in einer ersten Phase (Fig. 4), die im wesentlichen der homogenen Gemischaufbereitung nach Fig. 3 entspricht und in einer zweiten Phase nach Fig. 5, die im wesentlichen der heterogenen Gemischaufbereitung nach Fig. 2 entspricht. Allerdings sind die Kraftstoffmengen entsprechend der höheren Last größer. Alternativ zur mehrphasigen Einspritzung im oberen Teillastbereich und Vollastbereich kann in diesen Lastbereichen auch eine einphasige Einspritzung angewendet werden, d. h. der gesamte Kraftstoff wird im Bereich des oberen Totpunkts zur heterogenen Gemischbildung unter kleinem Winkel  $\alpha$  gemäß Fig. 5 eingespritzt.

[0040] Die Einspritzdüse 13 nach Fig. 6 und 7 besitzt einen Düsenkörper 20, in dem eine Ventalnadel 21 geführt ist. Diese weist einen Nadelkopf 22 mit einer Ventilsitzfläche 30 auf. Die Ventalnadel 21 öffnet in Öffnungsrichtung 28 nach außen. Im geschlossenen Zustand der Einspritzdüse 13 liegt die Ventilsitzfläche 30 an einem Ventilsitz 23 des Düsenkörpers 20 an.

[0041] Im geöffneten Zustand gibt eine Steuerkante 24 entsprechend dem Hub der Ventalnadel 21 Düsenlöcher 25 und 26 frei, wobei die Düsenlöcher 26 einen steileren Winkel  $\beta$  aufweisen als die Düsenlöcher 25, die näher am Nadelkopf 22 gelegen sind. Die Düsenlöcher 26 münden außerdem in Umfangsrichtung zu den Düsenlöchern 25 versetzt, so daß sich ihre Einspritzstrahlen 18 und 19 nicht behindern.

[0042] Im zweiten Fall sind die Düsenlöcher 25, 26 ohne Versatz zueinander so anzuordnen, daß die unter einem steileren Winkel  $\beta$  angeordneten, oben liegenden Einspritzstrahlen 18 die untenliegenden Einspritzstrahlen 17 in einer Entfernung 38 gezielt treffen. Durch die gezielte Kollision der beiden Strahlen 17, 18 wird die absolute Eindringtiefe des Kraftstoffs deutlich reduziert. Eine Wandanlagerung des Kraftstoffs, bei der Einspritzung zu frühen Grad Kurbelwinkeln gegen niedrigen Brennraumdruck, kann dadurch vermieden werden. Gleichzeitig reißt der Einspritzstrahl 17, 18 bei der Kollision deutlich weiter auf, wodurch sich kleinere Kraftstofftropfen bilden und ein größeres Luftvolumen erfaßt wird.

[0043] Die Lochdurchmesser der unteren und oberen Düsenlöcher 25, 26 sowie die Strahlkegelwinkel muß gezielt

aufeinander abgestimmt werden.

[0044] Die Einspritzdüse 13 nach Fig. 8 besitzt auf den Umfang verteilte Schlitzkanäle 29, die den Verteillerraum 27 mit einem in Öffnungsrichtung 28 länglichen Mündungsquerschnitt 31, 32, 33 am äußeren Umfang der Ventalnadel 21 verbindet. Der Mündungsquerschnitt 31, 32, 33 wird von einer Steuerkante 24 am Düsenkörper 20 mehr oder weniger aufgesteuert, wobei die Steuerkante 24 einen austretenden Einspritzstrahl 19 mit zunehmender Überdeckung des Mündungsquerschnitts 31, 32, 33 durch die Steuerkante 24 mehr zum Kolbenboden 7 abgelenkt wird. Dadurch bildet der Strahlvektor 34 des Einspritzstrahls 19 einen vom Öffnungshub abhängigen Neigungswinkel  $\delta$  zum Kolbenboden.

[0045] Im unteren Teillastbereich 37 wird der Kraftstoff zu heterogenen Gemischbildung mit einem steilen Winkel  $\delta$  zum Kolbenboden 7 abgelenkt und trifft im Bereich des oberen Totpunkts 12 in die Kolbenmulde 6. Mit zunehmender Öffnung des Mündungsquerschnitts 31, 32, 33 wird der Neigungswinkel  $\delta$  flacher, so daß er im Teillastbereich bei einer Einspritzung zwischen  $60^\circ$  und  $20^\circ$  Kurbelwinkel  $\phi$  zu homogenen Gemischbildung auch die Randbereiche des Arbeitsraums 8 erfaßt. Durch eine intermittierende Betätigung der Ventalnadel 21 erreicht man eine optimale homogene Verteilung des Kraftstoffs auf die Luftladung. Im Vollastbereich wird der Kraftstoff in zwei Phasen eingespritzt, und zwar in einer ersten Phase in einem Bereich zwischen  $60^\circ$  und  $20^\circ$  Kurbelwinkel  $\phi$  vor dem oberen Totpunkt 12 zu einer homogenen Gemischbildung und in einem sich anschließenden Bereich um den oberen Totpunkt 12 zu einer heterogenen Gemischbildung. Dadurch kann eine sehr große Kraftstoffmenge schadstoffarm und kloppfrei verbrannt werden.

[0046] Alternativ zur zweiphasigen Einspritzung im oberen Teillastbereich oder Vollastbereich kann in diesen Lastbereichen auch eine einphasige Einspritzung angewendet werden, d. h. der gesamte Kraftstoff wird im Bereich des oberen Totpunkts bei voll geöffneten Schlitzen zur heterogenen Gemischbildung eingespritzt.

[0047] Die Fig. 9 zeigt verschiedene Formen der Mündungsquerschnitte 31, 32, 33.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Hubkolbenbrennmaschine, bei der eine zu einem Arbeitsraum hin öffnende Einspritzdüse Kraftstoff direkt in den Arbeitsraum einspritzt, der in einem Zylinder zwischen einem Zylinderkopf und einem Kolben gebildet ist und eine Kolbenmulde umfasst, dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftstoff mittels der Einspritzdüse in Form von voneinander abgegrenzten Kraftstoffstrahlen in den Arbeitsraum mit unterschiedlicher Neigung zum Kolbenboden eingespritzt wird, wobei die Neigung der Kraftstoffstrahlen selektiv angesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in einem unteren Teillastbereich (37) der Kraftstoff zur heterogenen Gemischbildung kurz vor dem oberen Totpunkt (12) unter einem flachen Winkel ( $\alpha$ ) zum Kolbenboden (7) zentral in die Kolbenmulde (6) eingespritzt wird, daß in einem anschließenden Teillastbereich (35) der Kraftstoff zu einer homogenen Gemischbildung in einem Bereich wenigstens zum Teil unter einem steileren Winkel ( $\beta$ ) zum Kolbenboden (7) eingespritzt wird und daß in einem Vollastbereich (36) ein Teil des Kraftstoffs zunächst zur homogenen Gemischbildung in einem Bereich von sechzig bis zwanzig Grad Kurbelwinkel ( $\phi$ ) vor dem oberen Totpunkt (12) unter einem steileren Winkel ( $\beta$ ) zum Kolbenbo-

den (7) und der Rest zur heterogenen Gemischbildung in einem Bereich um den oberen Totpunkt (12) unter einem flacheren Winkel ( $\alpha$ ) zum Kolbenboden (7) in die Kolbenmulde (6) eingespritzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem unteren Teillastbereich (37) der Kraftstoff zur heterogenen Gemischbildung kurz vor dem oberen Totpunkt (12) unter einem flachen Winkel ( $\alpha$ ) zum Kolbenboden (7) zentral in die Kolbenmulde (6) eingespritzt wird, dass in einem anschließenden Teillastbereich (35) der Kraftstoff zu einer homogenen Gemischbildung in einem Bereich wenigstens zum Teil unter einem steileren Winkel ( $\beta$ ) zum Kolbenboden (7) eingespritzt wird und dass in einem oberen Teillastbereich oder Vollastbereich der gesamte Kraftstoff im Bereich des oberen Totpunkts bei voll geöffneten Schlitzen zur heterogenen Gemischbildung eingespritzt wird.

4. Einspritzdüse zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ventilnadel (21) am freien Ende einen Nadelkopf (22) hat, der mit einer Kante eines Düsenkörpers (20) einen Ventilsitz (23) bildet, und einen Verteilerraum (27) aufweist, an den sich Düsenlöcher (25, 26) anschließen, die in Öffnungsrichtung (28) vor dem Ventilsitz (23) aus der Mantelfläche der Ventilnadel (21) austreten und von denen einige (26) mit einem steileren Winkel ( $\beta$ ) zum Kolbenboden (7) entgegen der Öffnungsrichtung (28) der Düsennadel (21) versetzt sind.

5. Einspritzdüse nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenlöcher (26) mit einem steileren Winkel ( $\beta$ ) relativ zu den anderen Düsenlöchern (25) direkt in einer Linie übereinander so angeordnet sind, dass die Einspritzstrahlen (17, 18) unter einem Winkel ( $\chi$ ) in einer bestimmten Entfernung (38) von der Einspritzdüse (13) aufeinander treffen.

6. Einspritzdüse nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsenlöcher (26) mit einem steileren Winkel ( $\beta$ ) relativ zu den anderen Düsenlöchern (25) in Umfangsrichtung versetzt angeordnet sind.

7. Einspritzdüse zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ventilnadel (21) am freien Ende einen Nadelkopf (22) hat, der mit einer Kante eines Düsenkörpers (20) einen Ventilsitz (23) bildet, und einen Verteilerraum (27) aufweist, an den sich Düsenlöcher (25, 26) anschließen, die in Öffnungsrichtung (28) vor dem Ventilsitz (23) aus der Mantelfläche der Ventilnadel (21) mit einem in Öffnungsrichtung (28) länglichen Mündungsquerschnitt (31, 32, 33) austreten, wobei ein Strahlvektor (34) bei voll geöffnetem Mündungsquerschnitt (31, 32, 33) einen Winkel ( $\delta$ ) zum Kolbenboden (7) bildet, der kleiner ist als bei einem teilweise geöffneten Mündungsquerschnitt (31, 32, 33).

8. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ventilsitzfläche (30) am Nadelkopf (22) soweit in Öffnungsrichtung (28) zurückgenommen ist, dass sie die Einspritzstrahlen (17, 18) mit einem steileren Winkel ( $\beta$ ) nicht behindert.

9. Einspritzdüse nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Ventilnadel (21) während einer Einspritzung in Intervallen aufgesteuert wird.

10. Einspritzdüse zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ventilnadel (21) am freien Ende einen Nadelkopf (22) hat, der mit einer Kante eines Düsenkörpers (20) einen Ventilsitz (23) bildet, und einen Verteilerraum (27) aufweist, an den sich Düsenlöcher (25, 26) anschließen, die einen gleichen flachen Winkel ( $\alpha$ ) zum Kolbenbo-

den (7) aufweisen, in Öffnungsrichtung (28) vor dem Ventilsitz (23) aus der Mantelfläche der Ventilnadel (21) austreten und von denen einige (26) entgegen der Öffnungsrichtung (28) der Düsennadel (21) versetzt sind.

11. Einspritzdüse nach einem der Ansprüche 4–10, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektronische Steuereinheit (16) die Einspritzdüse (13) über einen piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktuator (14) gegebenenfalls unter Zwischenschaltung eines Übersetzungselements ansteuert.

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



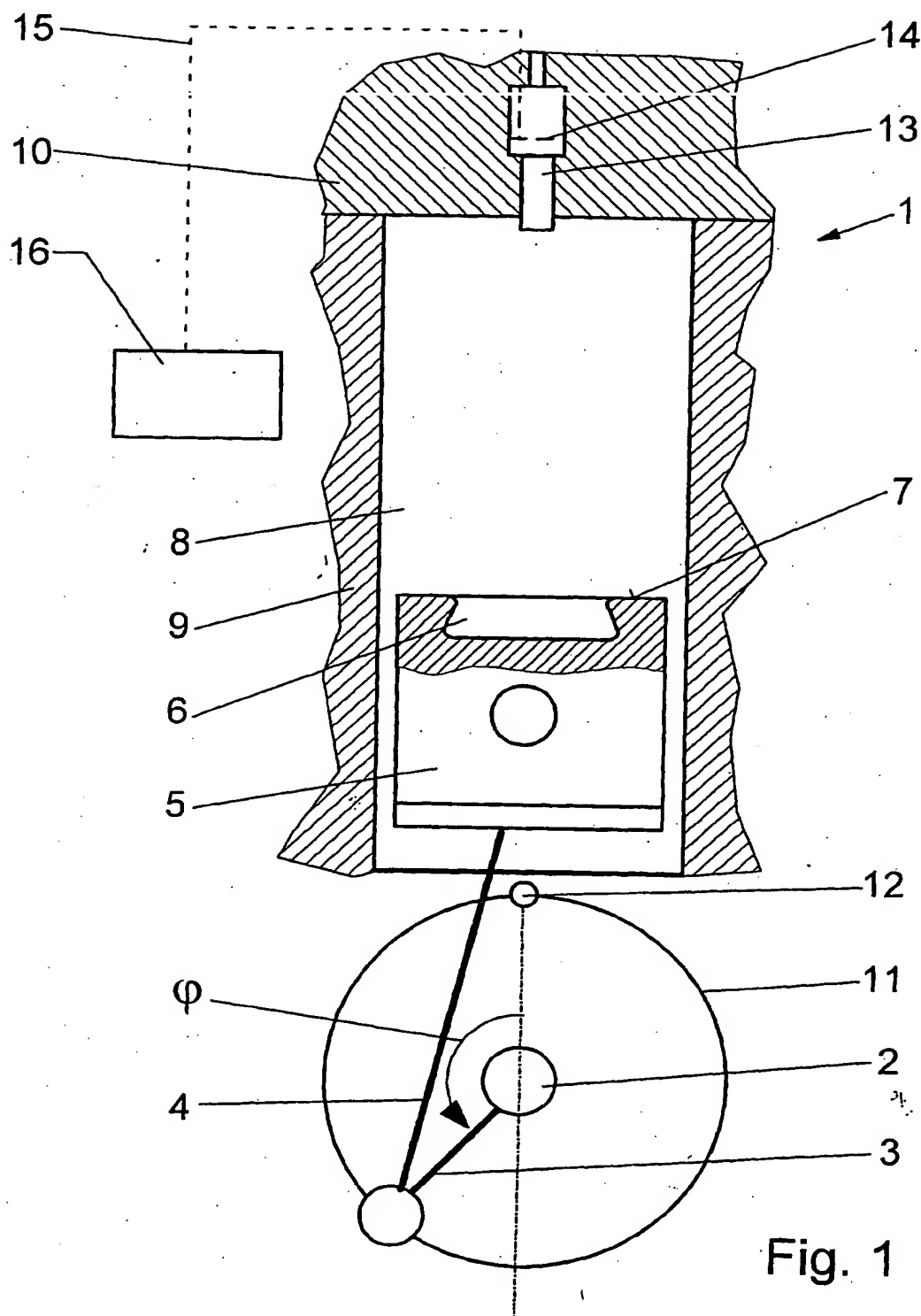


Fig. 1

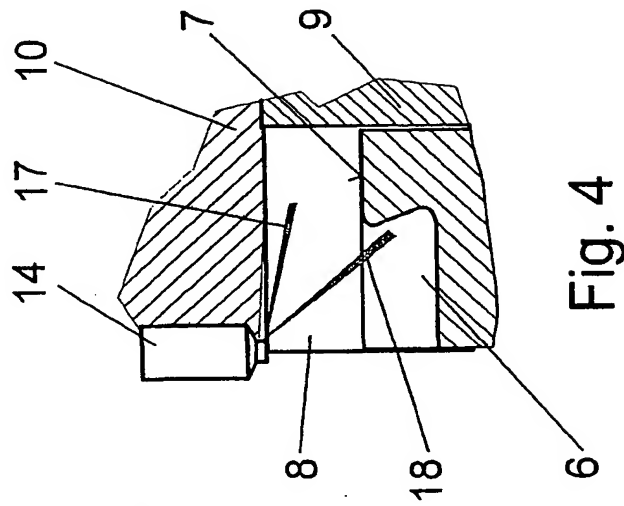


Fig. 4

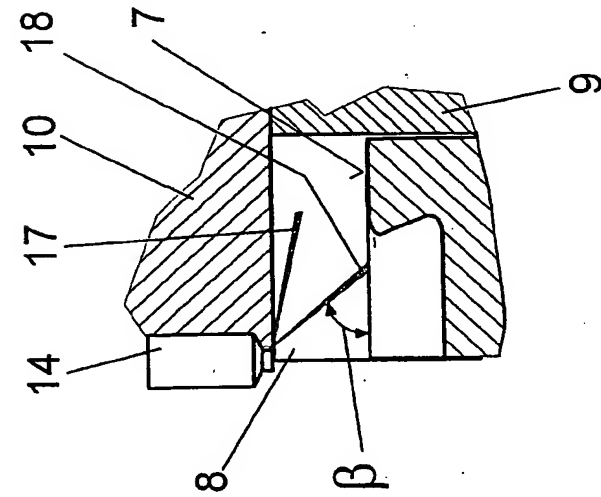


Fig. 3

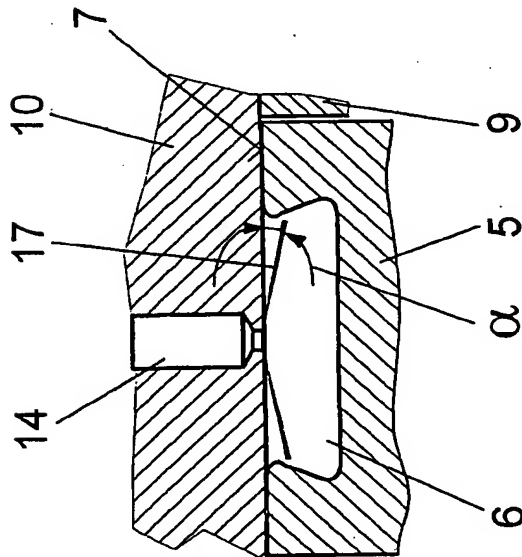


Fig. 2

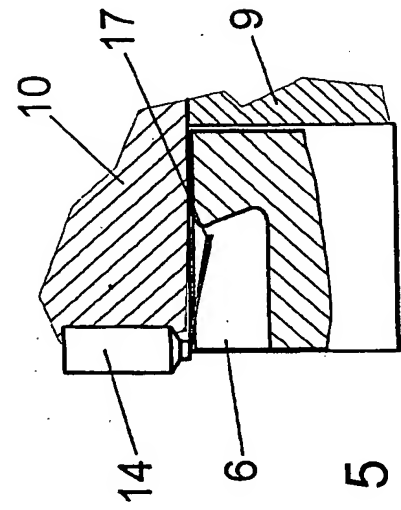
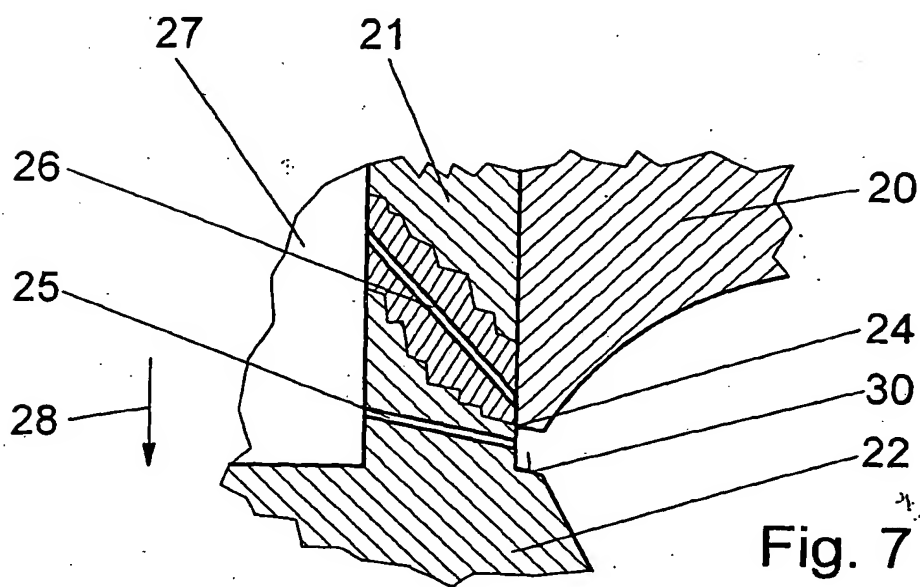
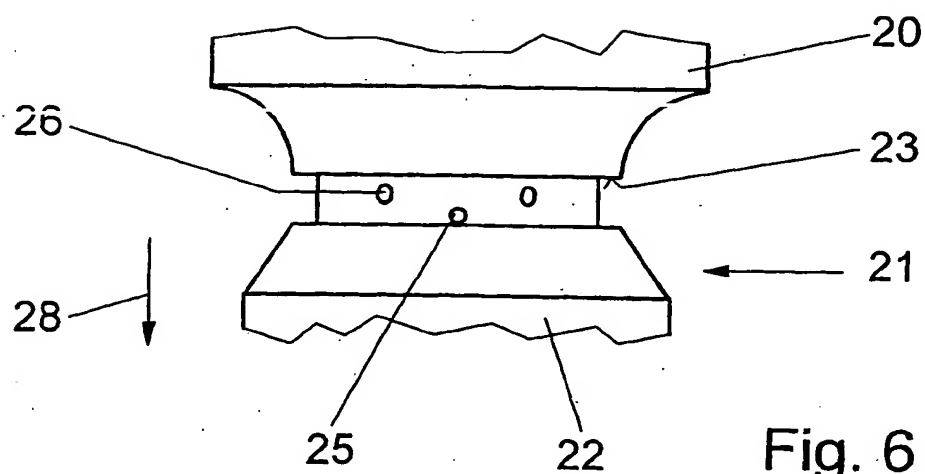


Fig. 5



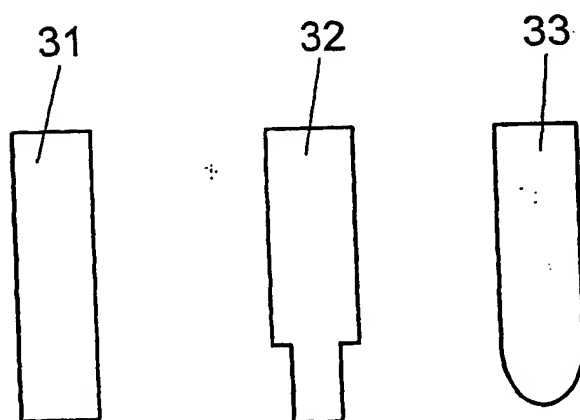
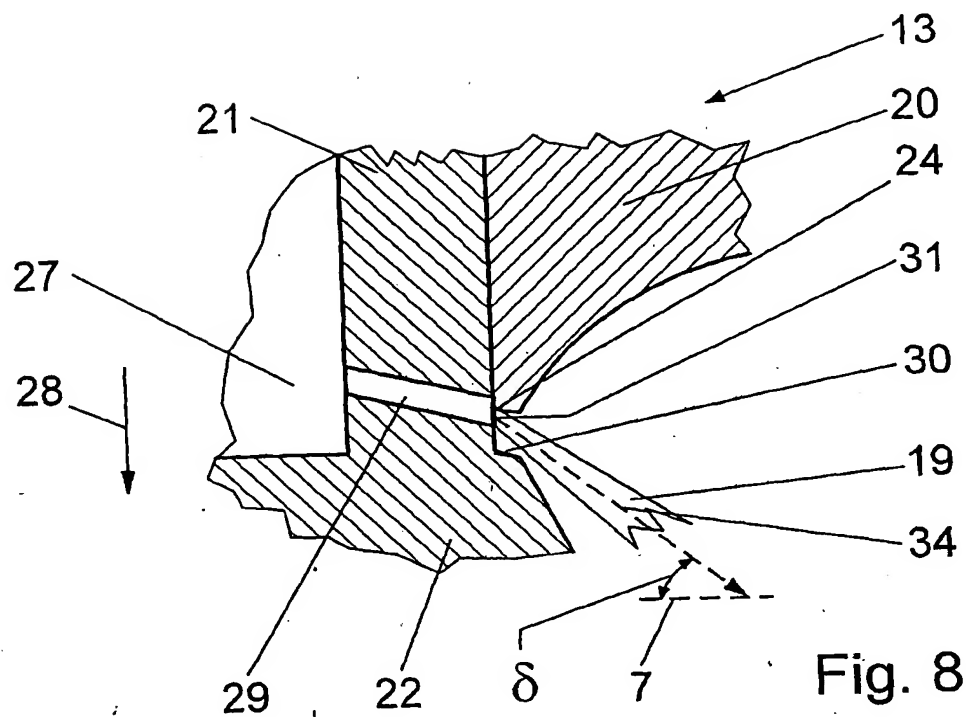


Fig. 9

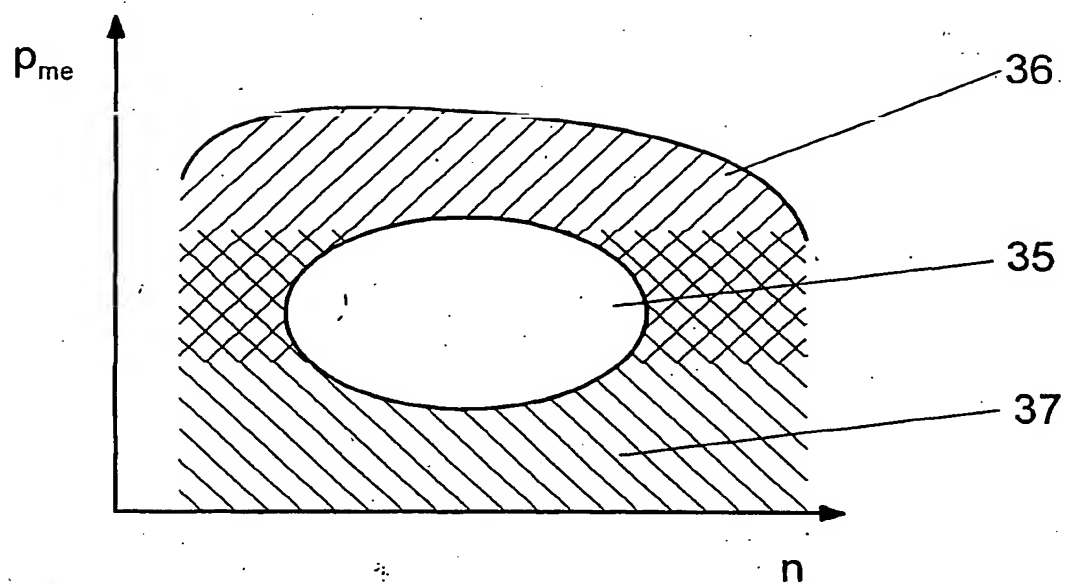


Fig. 10

